

選鉱製錬研究会記事

journal or publication title	Bulletin of the Research Institute of Mineral Dressing and Metallurgy, Tohoku University
volume	43
number	2
page range	270-275
year	1988-03-25
URL	http://hdl.handle.net/10097/00114637

選 鋳 製 錬 研 究 会 記 事

第23回 鉄鋼製錬研究懇談会

(昭和62年11月17日)
(於 東北大学選鋳製錬研究所)主題：将来の鉄鋼製錬における
物理化学的課題

(1) 主題の展望

東北大学選研 大 森 康 男

近年における我国の鉄鋼製錬の生産技術・応用技術とそれらを支える研究開発の進歩は目覚ましいものがある。前年の研究懇談会が反応工学的立場から鉄鋼製精錬プロセスの諸課題を論じたので、今回は、物理化学的見地より、高炉・転炉法ならびに熔融還元法など新製錬法に密接な関連をもつ諸課題を選んだ。高炉、転炉、連続铸造とそれぞれの製精錬機能は異っていても、共通に論じうる物理化学基礎問題がある。第一には溶銑、溶鋼など融体から固相が析出する際の反応過程の追跡であり、製銑工程では溶銑からのキッシュグラファイトの析出、製鋼工程では連铸浸漬ノズルのクロッキング現象と鋼中非金属介在物の挙動を採り上げた。第二には、焼結炉におけるコークスブリーズの焼結層内の燃焼、転炉ならびに熔融還元炉などにおける二次燃焼問題である。これは、各炉の伝熱、反応と密接に関係し、充填層やフリーボードにおける流動の制御という点で今後の重要課題である。第三は高温製精錬における揮化、蒸発現象とそれに伴うダストの挙動である。高炉においては羽口燃焼帯における微粉炭の燃焼、高炉内における揮発循環成分の挙動であり、高炉各部の通気、通液性に影響する。また転炉におけるヒュームの発生とダストの発生機構であり、それらの低減策は興味ある課題である。今後、都市資源と称される2次サイクル資源からの有害成分の除去とその成分の有効回収のプロセスが付加されるべきである。この研究懇談会では、また、国家プロジェクトの候補となっているセミ凝固プロセスの将来展望ならびに鉄、非鉄共通の熔融金属中のガスの熱力学を組み入れた。

(2) 製鉄プロセスにおける By-product の
高純度化

—フェライト、人造黒鉛—

東北大学選研 水 渡 英 昭

鋼材の圧延処理における酸洗廃液から回収した塩化鉄を焙焼した酸化鉄、およびテーブル選鋳したMBR 鋳石を用いて、フェライトの主原料である高純度酸化鉄（ソフトフェライト用）を製造する研究を行った。実験は、 $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3$ 系融体と固体酸化鉄粉または鉄鋳石粉を混合した固液共存状態で、温度（900～1450°C）、時間（5min～3 day）、フラックス/試料重量比を変えて行った。その結果、 $\text{Na}_2\text{O}/\text{B}_2\text{O}_3$ 比が低く高温ほど、短時間で酸化鉄および鉄鋳石中のTi以外の全ての不純物が除去されることが明らかとなった。SEM観察の結果、表面の脈石が容易にフラックスに溶出し、また、フラックス処理により鉄鋳石が微細になり内部の介在物がフラックスと直接接触し溶解することがわかった。上記の乾式処理後、湿式処理（水洗および酸洗）を行うことにより、JIS 1種以上の純度を持つソフトフェライト用酸化鉄が製造できることを明らかにした。本法と従来法とを比較し、高純度酸化鉄の新しい製造方法の特色を述べた。

高炉出銑後に溶銑の温度降下にもなって発生する鱗片状黒鉛（Kish Graphite）の高純度化について研究を行った。実験は、製鉄所現場で採取したKish Graphite を浮選および篩い分けにより選別したものを $\text{Na}_2\text{O}-\text{B}_2\text{O}_3$ 系融体中に分散させ、冷却後に水および希塩酸でスラグのみを除去する方法を用いた。製鉄所で発生する Kish Graphite の表面には微細なスラグ粒およびメタル粒が付着しており、フラックスがこれらを溶解除去することにより純化される。従来の酸処理法と比べて、本研究の乾式・湿式を組合せた処理法により、より高純度の黒鉛に精製できることを明らかにした。

(3) 連铸浸漬ノズル閉塞現象の解明と
防止技術

住友金属工業㈱総研 丸 川 雄 浄

鋼の連続铸造プロセスにおいて安定した操業を図

るとともに高品質を確保するために種々の努力が払われてきた。特にモールドへ溶鋼を供給する浸漬ノズル内面の閉塞は、連々鑄の阻害、偏流による鋳片表面品質の悪化等、今後更に高速鑄造化を図る際、早急に解決すべき問題である。

そこで、著者らはアルミナグラファイト質浸漬ノズルの閉塞の実態を調査し、閉塞のメカニズムを推定した。

更に、アルミナグラファイトに変わる材質としてジルコニヤグラファイトを選定し、130 kg 高周波誘導炉を用いた浸漬試験を行い、ジルコニヤグラファイトベース材質における難付着条件を見出し実機試験を行った。

また実態調査の結果より、アルミナの付着防止同様、地金の付着防止をも図る必要があることがわかったためメニスカス上部における抜熱の抑制を目的に、ノズル内部に断熱スリット層を全周付与した浸漬ノズルを製作し実機試験を行った。

その結果、浸漬ノズル内壁に付着するアルミナは、ジルコニヤグラファイトをベース材質として、CaO、SiO₂を適正配分することによって、鋼中アルミナを低融点化させる方法ならびに、ジルコニヤグラファイトをベース材質として、SiO₂を添加し高融点被膜を形成させる方法が有効であることがわかった。

また地金付着に対して断熱スリット層を付与することにより、鑄造中の温度降下を従来の浸漬ノズル構造と比較して約1/5に抑制させ、地金の付着も1/5程度に減少することを確認した。

(4) 鉄鋼製錬における二次燃焼に関する基礎的課題

東北大学選研 徳田昌則

二次燃焼技術は製鋼転炉や鉄浴型溶融還元炉における熱付与技術として最も重要な技術であり、発生したCOやH₂の酸素による炉内での燃焼とその燃焼熱の炉内での有効利用の2つの要素技術より成る。ガスの酸化度(OD)および着熱効率(η)が各々の評価パラメータであり、OD=0.5~0.6で η =0.9を達成し得る技術の成否が、鉄浴型溶融還元プロセスの成否を左右すると言っても良い。それは、発生排ガス量の抑制というこのプロセスの最大の課題を解決する鍵をこの技術が握っているためである。

このような二次燃焼技術が注目される背景を展望した後、鉄鋼基礎共同研究会、界面移動現象部会に

において実施した二次燃焼技術に関するアンケートの結果とそれを基に開催した二次燃焼技術に関するインフォーマルミーティングの成果の紹介を中心に、本技術の現状と課題を報告した。

現象把握の面で重要な問題は炉内における燃焼空間の分布を把握することであり、温度、ガス流れ、ガス成分の分布計測が不可欠である。伝熱媒体としてのスラグの重要性はとくに転炉の場合、その着熱効率向上策と矛盾する。溶融還元炉ではスラグ層自身とならんで、スラグ中の懸濁コークスの役割が重要である。 η 向上のために、スラグ層内でのCO燃焼法が検討されているが、小型炉の場合、多くの試みがほぼ満足し得る結果を得ているのに対し、大型炉ではODも η も高くするのに大きな困難が認められており、鉄浴と酸素ジェットとの直接反応の寄与の増大という観点から、整理されつつある。基礎的研究としては、固体炭素および溶鉄中の炭素のCO₂との反応速度、FeO濃度による反応速度およびスラグ内伝熱の変化、泡立ちの機構などが重要である。

(5) 製鉄、製鋼工程におけるダストの発生について

川崎製鉄㈱鉄鋼研 中西恭二

一貫製鉄所の焼結工場、高炉および転炉から発生するダスト量は、約40~50 kg/t粗鋼である。これらのダストは、乾式または湿式で回収され、主として焼結工場にリサイクルされる。ダストを発生原因別に大別すれば、移送ないしハンドリング中に発生するものと、高温反応時に発生するものに分けられる。前者については、機械技術の進歩を取りこんで、如何にクローズド化するかがポイントである。一方後者は未だ不明な点の多いダスト発生を防止、抑制することが重要である。

千葉を例にとり乾ダスト発生比率をみれば、高炉61%、転炉21%、焼結15%の順である。一方これらのリサイクル先は、焼結76%、転炉18%、外販7%となっている。全ダスト発生量の20%を占める湿ダストの発生比率をみれば、転炉61%、高炉25%、焼結14%の順である。一方これらのリサイクル先は焼結77%、転炉23%である。

高炉においてはZnやKなどの易蒸発元素が気化して炉内反応に影響をおよぼす。Znはメタルやスラグと共に排出されず、炉頂からガスとして排出さ

れる。一方Kは、炉頂へ移動して低温になると再び凝縮するため、炉頂ガスに含まれず、スラグ中に溶解して排出される。炉壁が異常に低温になるとZnが凝固して棚吊りの原因となる。

転炉におけるダストの60~90%は金属鉄と酸化鉄である。上底吹き転炉においては、底吹き酸素比率と共にダスト組成が変化する。ダスト中のMn濃度は底吹き酸素比率の増加に伴って低下する。これは、火点で蒸発したMnが、底吹き酸素の場合、鋼浴中をCO気泡と共に浮上するにつれ、再び鋼浴中へ戻るためと考えられる。Q-BOPではCO気泡浮上中の自己洗滌効果によりダスト発生量が少ない。

(6) Thermodynamics of Gasses in Liquid Metals and Alloys

Visiting Professor, SENKEN, Tohoku University
(Professor and Chairman, Department of Metallurgical and Mineral Engineering, University of Wisconsin-Madison, U. S. A.)

Y. Austin Chang

An overview of the de-oxidation equation in ferrous alloys was reviewed. In order to carry out this type of calculation, it is necessary to know the compositional variation of the activity coefficient of a dissolved gas in liquid alloys. Using the solvation-shell model of Wagner¹⁾ and the correlation of Chiang and Chang²⁾ to obtain a value of the model parameter, a methodology was presented.

This methodology allows us to predict the effect of solute additions on the activity coefficient of the dissolved gas in a multi-component liquid alloy system.

- 1) Wagner, C.: Acta Metall., **21** (1973), 1297.
- 2) Chiang, T.; Chang, Y. A.: Metall. Trans., **7B** (1976), 453.

(7) セミ凝固の課題

東京大学工学部 梅田 高照

液相と固相とを分ける固液共存域において加工を施す試みが種々なされ、一部は実用化の段階に入ってきた。このような情勢をふまえ、1) 固液共存域の特質、2) レオロジカルな挙動、3) 加工法、4) 加

工材の特性について発表した。

鑄造の分野においては通常完全液相状態を利用しており、したがって固液共存域では温度の降下ならびに固相の存在によって著しく流動性が低下する。そのため、流動性の低下を補償する技術の確立が期待された。固液共存域で強攪拌し固相を球状化することで、かなりの固相率まで流動性を有することがFlemingsらによって見出され(この技術はレオキャストティングと命名された。)、鑄造の分野における固液共存域の利用の端緒が発見された。"鑄造温度"の低下による型寿命の向上、鑄造工程の機械化、結晶粒の微細化と良好な機械的性質などが実現された。

一方、塑性加工の分野からみると、従来技術の固相での加工にくらべ固液共存域の利用は、当然利用温度域の上昇をもたらすが変形抵抗が著しく低下する。変形抵抗の低下による加工力の著減は塑性加工にとっては極めて魅力的であり、また、複合材料の加工法としても適用が期待されている。

物理化学的側面としてレオロジカルな挙動を詳細に述べ、上述の要請に対する基盤データを紹介した。すなわち、固相率と見掛けの粘性、剪断速度と応力、そのヒステリシス、固相の形態の発達過程について例を挙げ、強攪拌された固液共存域の流動、変形過程の位置付けをおこなった。加工法としてはレオキャスト法、チキソキャスト法、チキソフォージ法、連続鑄造への適用、各種複合材料への適用について、その方法の原理と特徴ならびに加工性の性質について述べた。

第35回 非鉄金属製錬研究懇談会

(昭和62年11月18日)
於 東北大学選鉱製錬研究所

主題：レア・アース金属の製錬を中心にして

(1) 世界のレア・アース資源について

日本レア・アース 大久保 豊 和

近年、レア・アースは先端産業に於て不可欠な資源として着目されてきている。その資源は、世界に普遍的に存在し、鉱石種にしても200種以上あると言われている。

その中で主要な鉱石は、バストネサイト、モナザイト、ゼノタイムであるが、バストネサイト以外は、スズやチタン鉱石の副産品として産出する。

埋蔵量は、バストネサイトでは、アメリカのマウンテンパス鉱山だけでも、3～5百万トン（REO）、モナザイト鉱も巨大量存在すると見積られている。

また、生産量は、レア・アース資源として主要な、バストネサイト、モナザイトに絞って、実績値をまとめると下表の如くである（中国、ソ連邦を除く。）。

	REO (T/Y)	また、将来の可能生産量を考慮すると、2
バストネサイト		倍の鉱石産出が予測される。
U S A	14,000	
モナザイト		結論は、以下の2点に集約される。
オーストラリア	8,000	(1) 新鉱源の探査は、当面、不要である。
インド	3,000	(2) レア・アースの消費バランスに関心を払うべきである。
マレーシア	1,000	(軽希土の新しい応用開発により、重布土の採算性や入手可能性が改善される。)
南アフリカ	1,000	
タイ	500	
インドネシア	500	
U S A	500	
その他	500	
(モナザイト計：)	15,000	
合 計	29,000	

(2) レア・アースの分離・精製について

日本イットリウム(株) 菅 原 雄 伍

酸化物高温超電導の開発レースは、本年初には最高潮に達し、その過熱ぶりは毎日マスコミを賑わしたが、Y-Ba-Cu-O系が液体窒素の沸点77Kを超える超電導物質であるとの発見によって、十数年間低迷していたわが社の社名のイットリウムが、何となく衆知された。

レア・アースがその名の通り、資源量が「稀」であり、分離・精製技術が未確立であるとなれば、折角発見されたレア・アース超電導体が実用化される場合の重大な障害になるとの心配もあるが、幸いにして、資源量豊富、精製技術確立と言ってもよい。むしろ、足もとのわが国のレア・アース需要量は、年間5,000トン弱、推定金額250億円前後の弱小産業であることに、大きな危機感を持っている。レア・アースの新規需要開拓の推進と市場の拡大を望むや切なるものがある。

"Rare earths are not rare in natural resources, not rare in processing technologies, but still rare in market needs."

以下に、レア・アースの分離精製と金属合金の製造について概説する。

(1) レア・アースの分離精製

- ・原料鉱石 ・元鉱の選鉱 ・鉱石の分解
- ・希土の分離精製（イオン交換法、溶媒抽出法）

(2) レア・アース金属・合金の製造

- ・熔融塩電解・金属熱還元

(3) レア・アースの応用：希土磁石を中心として

東北金属工業(株) 第一開発本部 大 槻 悦 夫

レア・アースは、その電子構造に由来する種々の特異な物理・化学的性質を持ち、また超電導セラミクスを例にとるまでもなく、まだまだ多くの機能を提供する可能性を持つと期待されることから、近年多くの人々の興味の対象となるに至った。レア・アース化合物はすでに多種の分野で用いられているが、ここでは、本系化合物を用いることにより長足の特性向上が果され、多くの用途開拓を可能にしたレア・アース化合物磁石を取り上げ、その製造および開発における諸問題を挙げ、レア・アース化合物材料開発の一考に供したい。

レア・アース化合物磁石はSm-Co系磁石(SmCo₅, Sm₂(Co, Fe, Cu, Zr)₁₇)およびNd-Fe-B系磁石に大別される。これらの磁石は、いずれも化合物結晶磁気異方性を利用し、永久磁石特性を得ている。その磁気特性の内、残留磁化Brは化合物の種類ではほぼ決定される構造不敏感性を示す。一方、保磁力 $\mu_0 H_c$ およびそれに起因する角形性は構造敏感で、組織に強く依存する。また、これらの磁石合金は「合金作製—粉碎—成形—焼結—熱処理」の粉末冶金プロセスを用いて製造され、その合金組織は各工程因子とくに焼結に関与する因子に強く依存する。そのため、保磁力は焼結工程に強く影響される。

そこで、Nd-Fe-B磁石の焼結について得られた2, 3の結果に基づいて本系合金の焼結挙動を検討し、更にそれと磁気特性との関係をも述べたい。

また、レア・アース化合物磁石の早足の開発の故、種々のプロセス因子と磁気特性との把握または特性改善のために必要な多くの基礎データが欠落している点にも言及したい。

(4) 酸化物高温超電導体について

東北大学金研 深 道 和 明

最近、世界中で話題となっているレア・アース元素を含む酸化物高温超電導体について以下の項目を解説した。a) 超電導体の基礎、b) 結晶構造、c) 酸化物高温超電導体の諸性質、d) 応用と問題点。以下にその要点を示す。

a) 超電導体の基本的な性質であるマイスナー効果、臨界電流密度および臨界磁場について説明した後、高い遷移温度を有する超電導材料開発の経験則を概説した。

b) 酸化物高温超電導体は基本的にはペロブスカイト構造を有するが、酸素が欠損している部分が多くあり、高い遷移温度はその欠損と強い相関を持つので、作製条件により、遷移温度および格子定数は敏感に変化することを指摘した。

c) 酸化物高温超電導体において、構成元素の中でYの代りに磁性を有するDyやHoで置換しても、またCuの代りにNiを多少置換しても遷移温度は強く影響しないことを示した。

d) 先ず、外部磁場により遷移温度が低下しやすいことを述べ、また、薄膜の場合とはともかく、バルク材においては臨界電流密度が非常に低いことを指摘した。次に、線材化は被覆材としてAgを用いると可能であることを述べた。また、酸素欠損と構造の関係より、再現性を含めた製造条件の確立も大切であることを指摘した。最後に、これら諸々の問題が解決されると共に、常温超電導体が開発されるならば、エネルギー、エレクトロニクス、医療関係を含めた多方面の応用が考えられることを、MHD発電、電力貯蔵、磁気浮上列車、船舶推進、磁気分離、スクイッド磁束計、ジョセフソンコンピュータ、NMR映像などの例をあげて説明した。

(5) 熔融 $\text{LaCl}_3\text{-MCl}$ ($\text{M}=\text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Cs}$) 2成分系の物理化学的性質

東北大学工学部 江 島 辰 彦

希土類金属の製法として金属還元法と熔融塩電解法が挙げられる。このうち、熔融塩電解法では希土類金属化合物（主に塩化物あるいは酸化物）を金属供給源とし、これに電導性向上および融点降下などの目的のために添加した電解支持塩からなる混合熔融塩を電解浴とする。従って、電解機構や電流効率

などを理論的に解明するにはこれら混合熔融塩系の物理化学的諸性質やそれらを左右する因子、熔融塩を構成するイオン種などについての詳細な情報が必要である。

希土類金属を含む混合熔融塩系の物理化学的性質に関する研究報告はその数が極めて少なく、系統的なものは皆無と言って差し支えない。

本研究は、熔融 $\text{LaCl}_3\text{-MCl}$ ($\text{M}=\text{Li}, \text{Na}, \text{K}, \text{Cs}$) 2成分系の物理化学的諸性質のうち特に電解に密接な関連のある基礎物性、すなわち、密度、電導度および粘度を全組成範囲にわたり精度良く測定し、電解浴としての特性、融体を構成するイオン種の変化について考察を加えたものである。

塩化ランタンは潮解性が強く、水分や酸素によって容易に分解され、酸化物や酸塩化物を作り易いので、試料の精製に特別の注意を払うほか、密度、電導度、粘度など密閉系内で測定を行うようにした。すなわち、密度の測定には外部雰囲気の影響をうけないマノメータ法、電導度測定は蒸発飛散による試料の組成変化を最小に保つ特殊保護セルを用いアルゴン雰囲気下で測定した。一方、粘度は密閉型の細管粘度計を用いて測定した。

測定結果より、モル体積、膨張係数、部分モル体積、過剰モル体積、モル電導度、電導の活性化エネルギー、過剰モル電導度、粘性の活性化エネルギー、過剰粘度などを求め、それらの組成依存性の総合的見地から融体を構成するイオン種の変化、とくに錯イオンの存在について検討を加えた。

(6) Rare earth metal- H_2O 系の電位-pH 図について

東北大学選研 梅 津 良 昭

超電導材料をはじめとする、いわゆる新素材の利用開発の急速な進展にともない、レア・アース金属およびその化合物の生産では高純度でしかも特性が制御された製品が要求されるようになってきた。

レア・アース元素は化学的性質が相互に類似しており、各元素の分離は極めて困難である。現在の分離精製工程では溶媒抽出法あるいはイオン交換樹脂法が採用されているが、相互の分離係数が小さいために同一分離工程の多段くりかえしによって高純度化を図っている。工業的に稼動している Lanthanide の湿式分離工程が含む問題点を再検討し、分離効率向上の可能性について考察した。

また、湿式分離法の検討には各種金属イオンの水溶液中での存在形態および特性を十分に把握する必要がある。各種イオンのイオン半径、異なる酸化状態のイオンに対する平衡電位、水和水、種々の錯体の生成定数に関するデータを集め、分離効率向上に利用し得る点をひろい出した。

また、水溶液中の各種イオンの平衡状態の記述の基本となるレア・アース金属- H_2O 系の電位-pH 図は Pourbaux によって示されたが、その後の測定によりイオンあるいは水酸化物の ΔG° の値が大巾に修正されたものが多くある。Lanthanide 元素- H_2O 系のポテンシャル-pH 図を再計算し、酸化物あるいは水酸化物の生成を中心に元素による特徴を比較した。

分離効率の向上のためには、現在の単一反応の利用に加えて、反応速度の差を利用したクロマトグラフィー的方法の開発、利用を考える必要があると思われる。

(7) ランタノイドの溶媒抽出

東北大学選研 秋 葉 健 一

ランタノイドの溶媒抽出にジアルキルリン酸が有望であることは以前から知られており、特にDEHPAは工業的分離にも広く用いられている。他の多くの抽出試薬も調べられてきたが、ランタノイドの相互分離の観点からは大巾な改善はなされていない。隣接する元素の分離係数はランタノイド元素の錯生成能の差に基づくものであり、一般に原子番号が増すとランタノイド収縮により錯生成能は増すと考えられる。しかしランタノイドの抽出定数は一様に増加するのではなく、“tetrad effect”により4つのグループに分れる。このため各グループの境界近くの組、すなわち Pr-Nd, Eu-Gd, Dy-Ho および Yb-Lu 間の分離係数は小さくなり、さらに Y が Ho や Er と近い性質を持ち分離を困難にしている。複合反応、たとえば協同効果抽出で抽出能の増大が試みられているが、必ずしも分離係数の向上にならない例が多い。クラウンエーテルのサイズをコントロールすることにより、それにマッチしたランタノイド元素を選択的に分離する試みは興味深い。従来の静電的効果による錯生成とは異なる抽出の序列が得られている。特異な反応を利用して分離係数の向上をめざす

と共に、分離係数の小さい系でも十分に分離出来る手法の開発も重要である。

液-液抽出平衡を基にして、これを多段化した液-液分配クロマトグラフィーによるランタノイドの分離を試みた。抽出試薬 PC-88A のケロシン溶液を遠心力で保持して固定相とし、液滴とした水相を移動相としてクロマトグラフィー的に各元素を順次溶離するものである。分離係数の小さい Pr-Nd や Eu-Gd でも相互分離出来ることが示された。液-液抽出のデータに基づいて固定相の設定が出来、濃度を増すことや容量を増すことも可能なことから、その応用範囲も広いと考えられる。

(8) 含レア・アース機能性材料の直接製造について

東北大学選研 板 垣 乙未生

強磁性体や水素吸蔵材などの機能性合金として最近着目されているレア・アース-遷移金属系の化合物合金の製造法として、カルシウム還元や熔融塩電解によりレア・アースの原料ないしは中間産物（酸化物、塩化物、フッ化物など）から一段にて化合物を得る直接製造法が提案されている。原料→合金化という直接製造ルートを選ぶことにより、原料→レア・アース金属の製造→合金化という従来法のプロセス工程が大幅に省略される結果、製造コストやエネルギー消費量の低減が期待できる。このような工程省略の利点の他、直接製造法は、原料の還元反応の中に合金製造の自由エネルギー変化 ΔG^{mix} を内蔵するという熱力学的に興味ある特徴を有しており、 ΔG^{mix} の寄与により、レア・アース金属を得る場合よりも弱い還元力や低い電解電圧により化合物の製造が原理上可能になる、という熱力学上、平衡論上での利点を有する。

本講演は、直接製造法の有するこのような熱力学的特徴に主眼を置き、(1)アルカリおよびアルカリ土金属を還元剤として用い、レア・アース原料として酸化物、塩化物、フッ化物を対象とした場合の合金生成の可能性、(2)合金濃度と気相ポテンシャルの関係、などについて述べたもので、レア・アース元素として La, Ce, Pr, Nd, Sm, Dy を取り上げ、これらと銅ないしはニッケルを中心とする遷移金属との合金生成について論じた。